Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, Summer 2022, p. 217-228

Effect of Irrigation Interval and Nitrogen and Potassium Fertilizers on Yield, Yield Components and Some Traits of Gilaneh Rice

Z. Rabiei[1], N. Mohammadian Roshan[2*], S. M. Sadeghi[3], E. Amiri[4], H. R. Doroudian[5]

Received: 11-10-2021 Revised: 26-01-2022 Accepted: 05-02-2022	**How to cite this article:** Rabiei, Z., Mohammadian Roshan, N., Sadeghi, S. M., Amiri, E., and Doroudian, H. R. 2022. Effect of Irrigation Interval and Nitrogen and Potassium Fertilizers on Yield, Yield Components and Some Traits of Gilaneh Rice. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 217-228. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2022.72996.1098.

Introduction

Considering the conditions of Iran in terms of water resources, high consumption of nitrogen fertilizer and low consumption of potassium fertilizer, less water use in rice cultivation and balance in chemical fertilizer consumption will play very important role in saving and wasting water. Rice production should increase in the coming years due to population growth, and this is possible due to the use of improved cultivars and agricultural management. Water is the most important factor for sustainable production in many agricultural products. About 75% of the rice produced (50% of the total rice fields in the world) is irrigated. Mineral nutrition includes; Supply, absorption and consumption of nutrients are essential for the growth and yield of crops. Non-use of nitrogen in rice plant at the beginning of tillering reduces plant height and non-use of nitrogen in full clustering stage reduces 1000-seed weight.

Materials and Methods

The aim of this study was to investigate the effect of different irrigation methods and nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components, water use efficiency and nitrogen consumption efficiency of Gilaneh rice cultivar in 2016-2017 and 2017-2018 cropping years. The shredded load was performed based on a randomized complete block design with three replications in Rasht. The size of the experimental units was nine square meters (dimensions of the main plot were 3 × 3 m, the sub-plot was 3 × 1 m and the sub-plot was 1 × 1 m). Accordingly, experimental treatments include irrigation at two levels of permanent flooding and irrigation interval of once every 10 days as the main factor, nitrogen fertilizer at three levels of 0, 60 and 120 kg.ha^{-1} as a secondary factor and potassium fertilizer at three levels. Zero, 80 and 160 kg.ha^{-1} were sub-factors. To determine the grain yield by observing the margin effect (removal of two rows) in each plot in the physiological maturation stage was taken and grain yield was calculated based on 14% moisture.

Results and Discussion

The results of this study showed that the highest grain yield of 5198 kg.ha^{-1} in flooding treatment, application of 120 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer and 80 kg.ha^{-1} of potassium fertilizer and the lowest yield in 10 days irrigation cycle and no use of two types Potassium and nitrogen fertilizers equivalent to 887 kg.ha^{-1} were obtained. Increasing the irrigation distance reduced the number of spikes per square meter, number of seeds per spike, 1000-seed weight and paddy yield. The highest nitrogen crop yield (45.8 kg.kg^{-1}) was recorded in both

1- PhD student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
4- Professor, Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
5- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
(*- Corresponding Author Email: Nmroshan71@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.72996.1098

irrigation regimes at 160 $kg.ha^{-1}$ of potassium fertilizer with 60 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen fertilizer. By increasing the irrigation cycle, treatments of 60 $kg.ha^{-1}$ nitrogen fertilizer along with 160 $kg.ha^{-1}$ of potassium fertilizer equivalent to 0.764 $kg.m^{-3}$ in the first year and equivalent to 0.775 $kg.m^{-3}$ in the second year increased water use efficiency. With increasing irrigation frequency, 1000-seed weight was reduced in all three levels of nitrogen fertilizer, which was significant only in one level of nitrogen fertilizer. The maximum weight of 1000 seeds per hectare with consumption of 80 $kg.ha^{-1}$ of potassium fertilizer and 60 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen fertilizer was equal to 23.31 g. Increasing the irrigation cycle in all three levels of potassium fertilizer reduced the number of full grains in the panicle.

Conclusion

Nitrogen and potassium fertilizer application, in addition to optimizing fertilizer application, increased the yield and yield components of Gilaneh rice. Irrigation period of 10 days and non-application of two types of potassium and nitrogen fertilizers, the lowest grain yield and consumption of 80 $kg.ha^{-1}$ of potassium fertilizer and 120 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen fertilizer in flooded conditions recorded the highest grain yield.

Keywords: Crop management, Paddy field, Water use efficiency

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۱، ص ۲۲۸-۲۱۷

اثر دور آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات برنج رقم گیلانه

زهرا ربیعی[۱]، ناصر محمدیان روشن[۲]*، سید مصطفی صادقی[۳]، ابراهیم امیری[٤]، حمیدرضا درودیان[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

با توجه به کم‌آبی‌های پیوسته در نواحی کشت برنج، مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی نیتروژنی و پتاسیم، لزوم توجه بـه اسـتفاده از آب کمتـر در زراعت برنج و تعادل در مصرف کود شیمیایی در صرفه‌جویی و جلوگیری از هدررفت آب حائز اهمیت می‌باشد. لذا ایـن پـژوهش بـا هـدف بررسـی اثـر روش‌های آبیاری، شامل غرقابی پیوسته و دور آبیاری ۱۰ روزه و مصرف مقادیر مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن روی برنج رقم گیلانه در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت کـرت‌هـای دو بـار خـرد شـده بـر پایـه طـرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در روستای کشل‌ورزل استان گیلان (رشت) اجرا گردید. بر این اسـاس، تیمارهـای آزمایشـی شـامل آبیاری در دو سطح غرقاب دائم و فاصله آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به‌عنوان عامل اصـلی، سـطوح مختلـف نیتـروژن (صـفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلـوگرم در هکتـار نیتروژن خالص از منبع اوره) به‌عنوان عامل فرعی و پتاسیم (صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم خالص از منبع سولفات پتاسیم) به‌عنـوان عامـل فرعی فرعی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد شلتوک به میزان ۵۱۹۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار غرقاب، کاربرد ۱۲۰ کیلـوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و کم‌ترین عملکرد در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم مصرف دو نوع کود پتاسیم و نیتروژن معادل ۸۸۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. دور آبیاری ۱۰ روز تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد شـلتوک را کـاهش داد. بالاترین کارایی زراعی نیتروژن (۴۵/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم) در هر دو رژیم آبیاری در تیمار ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم همراه با ۶۰ کیلـوگرم در هکتار کود نیتروژن ثبت شد. تیمارهای ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی همراه با ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در دور آبیـاری ۱۰ روز، معـادل ۰/۷۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب در سال اول و معادل ۰/۷۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال دوم بهوری مصرف آب را افزایش دادنـد. در شـرایط غرقـاب و آبیاری ۱۰ روز یک‌بار میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را در تیمار غرقاب و کم‌آبـی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، شالیزار، مدیریت زراعی

مقدمه

برنج (*Oryza Sativa* L.) از مهـم‌تـرین محصـولات زراعـی بـا سطح زیر کشت بیش از ۱۶۴ میلیون هکتار و مقدار تولید ۷۶۰ میلیون تن در جهان، نقش مهمی در تأمین نیـاز غـذایی جوامـع بشـری دارد (FAOSTAT, 2020). برنج غذای بیش از نیمـی از جمعیـت دنیـا را تشکیل می‌دهد و روزانه بیش از سه و نیم میلیـارد نفـر در حـدود ۲۰ درصد کالری مورد نیاز خود را از این گیـاه بـا ارزش تـأمین مـی‌کنـد (Priya *et al.*, 2019). آب مهم‌تـرین عامـل بـرای تولیـد پایـدار در بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله برنج است. حدود ۷۵ درصـد برنج تولیدی (۵۰ درصد کل مزارع برنج دنیـا) بـه‌صـورت آبـی اسـت (Carmelita *et al.*, 2011). در صورت عدم وجود مدیریت مناسب و اعمال دور آبیاری بدون مطالعه موجب کـاهش رطوبـت خـاک از حـد مناسب و در پی آن کمترشدن رشد گیاه، عملکرد، تأخیر در رسـیدگی، رشد علف‌های هرز، ایجاد ترک در سطح مزرعه، افزایش آب مصـرفی در داخل مزرعه می‌شود و تأثیر بر راندمان کاربرد کـود دارد (Tabbal

۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحـد لاهیجـان، دانشـگاه آزاد اسـلامی، لاهیجان، ایران
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتـات، واحـد لاهیجـان، دانشـگاه آزاد اسـلامی، لاهیجان، ایران
۴- استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۵- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحـد لاهیجـان، دانشـگاه آزاد اسـلامی، لاهیجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Nmroshan71@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.72996.1098

et al., 2002). اعمال مدیریت صحیح آب و در نتیجه صرفه‌جویی آن، می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد (Bouman et al., 2005). بیشتر واریته‌های برنج در شرایط غرقابی عملکرد بیشتری نسبت به شرایط غیرغرقابی تولید می‌کنند. افزایش دور آبیاری می‌تواند از طریق اثر بر صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه بر گیاهان اثرگذار باشد که همه این تغییرات می‌توانند رشد و عملکرد گیاه را تغییر دهند (Pandey and Shukla, 2015).

غرقاب شدن مزرعه برنج قابلیت دسترسی بعضی از عناصر از قبیل بخشی از فسفر، پتاسیم، کلسیم، سیلسیم و آهن را زیاد می‌کند. تغذیه عناصر معدنی شامل؛ تأمین، جذب و مصرف عنصر غذایی برای رشد و عملکرد گیاهان زراعی ضروری است (Akhgary, 2004). عدم مصرف نیتروژن در گیاه برنج در ابتدای پنجه‌دهی موجب کاهش ارتفاع بوته و عدم مصرف نیتروژن در مرحله خوشه‌دهی کامل سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Khosravi et al., 2011). مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن به همراه آبیاری هر پنج روز یک بار، بالاترین عملکرد دانه در هکتار را در رقم خزر منطقه رودسر را سبب گردید (Ashouri, 2012). با افزایش سطوح مختلف کود نیتروژن در آبیاری هر ۴ روز یک بار، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد دانه (۵۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت ۴۷/۲ درصد) در تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و آبیاری هر چهار روز یک بار به‌دست آمد (Alhassan and Saddiqe, 2016). پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی در گیاه بوده و برنج به‌ویژه ارقام پرمحصول، مقدار قابل‌توجهی پتاسیم جذب می‌کنند که حتی مقدار آن گاهی تا چهار برابر ارقام بومی است (Esfahani et al., 2005). واکنش برنج به کودهای پتاسیم در مقایسه با نیتروژن و فسفر محدودتر است. واکنش ارقام پرمحصول برنج به پتاسیم خاک شدیداً تحت تأثیر مقدار پتاسیم در دسترس، فراوانی نیتروژن، بافت خاک، وضعیت زهکشی خاک، میزان اسیدیته خاک و آب آبیاری دارد (DeDatta and Mikkelsen, 1985; Prasad and Prasad, 1997). افزایش نیتروژن باعث بالارفتن درصد دانه‌های پر و کمبود پتاسیم موجب عقیمی دانه‌های گرده در مرحله آبستنی و در نتیجه کاهش تعداد دانه‌های پر شده می‌شود (Esfahani et al., 2005). کاربرد ۶۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش خشکی از کاهش بیشتر عملکرد دانه ذرت جلوگیری می‌کند (Maleki et al., 2014). پتاسیم علاوه بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش تحمل گیاهان به کم‌آبی، شوری، انواع تنش‌ها، آفات و بیماری‌ها شده و کارایی مصرف آب و عناصر غذایی ماکرو و میکرو را افزایش می‌دهد (Rezaei et al., 2018). این پژوهش با هدف بهبود مدیریت نیتروژن و پتاسیم در خاک‌های شالیزارهای گیلان از طریق افزایش عملکرد شلتوک، افزایش کارآیی زراعی، کارآیی بازیافت و کارآیی فیزیولوژیک کود نیتروژن، بهره‌وری مصرف آب روی گیاه برنج رقم گیلانه انجام گرفت است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای آزمایشی در روستای کشل‌ورزل استان گیلان (رشت) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۱ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی، به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن برنج رقم گیلانه به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. محل آزمایش دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است و میزان بارندگی سالانه بر حسب میانگین ۱۰ ساله برابر با ۱۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد (Guilan Meteorological Quarterly, 2019). اطلاعات هواشناسی منطقه در طول اجرای این آزمایش در جدول ۱ آمده است. قبل از اجرای آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در آزمایشگاه بخش آب و خاک موسسه تحقیقات برنج رشت، اندازه‌گیری شد (جدول ۲). تیمارهای آزمایشی شامل مدیریت آب در دو سطح غرقاب دائم و فاصله آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به‌عنوان عامل اصلی، کود نیتروژن از منبع اوره در سه سطح صفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در سه سطح صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی فرعی بودند. کود نیتروژن از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن)، کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (محتوی ۵۰ درصد پتاسیم و ۱۸ درصد گوگرد) و کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (فسفات ۴۶ درصد، کلسیم ۱۴ درصد و ۱۲ درصد گوگرد) بر اساس تیمارهای آزمایشی و نتایج آزمون تجزیه خاک به کرت‌ها افزوده شدند. در این پژوهش از برنج رقم گیلانه استفاده شد که حاصل تلاقی بین رقم صالح و رقم محلی آبجی بوجی یا دم سرخ می‌باشد. رقم گیلانه از نظر ساختار و مورفولوژی بسیار شبیه به والد خود رقم (آبجی بوجی) است و همانند آن دارای ریشک‌های بلندی می‌باشد. این رقم جزء ارقام زودرس و تا حدی متحمل به ورس است (Allahgholipour et al., 2018).

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷ محل انجام آزمایش

Table 1- Meteorological information from year 2016 and 2017 at the site of the experiment

سال Year	مشخصات هواشناسی Climatic item	فروردین 21Mar-20Apr	اردیبهشت 21Apri-16May	خرداد 17May-16Jun	تیر 17Jun-18Jul	مرداد 19Jul-18Agu	شهریور 20Agu-19Sep
2017	دما Tmean (°C)	13.6	19.3	23.6	26	28.2	26.9
	بارندگی Rainfall (mm)	86.2	27.8	18.6	13.8	15	61
	رطوبت نسبی Relative Humidity (%)	78	78	75	74	71	75
	ساعات آفتابی Sunny Hours (h)	140	169.2	229.1	232.5	293.7	245.8
2018	دما Tmean (°C)	13.7	19.4	23.1	28.1	27	25.1
	بارندگی Rainfall (mm)	20.4	37.2	48.7	30.8	68.4	13.8
	رطوبت Relative Humidity (%)	76	74	75	73	77	74
	ساعات آفتابی Sunny Hours (h)	145.9	170.4	230.3	295.4	164.9	209.7

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of soil in the experiment site

سال Year	کل نیتروژن Total N (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب K vailable (mg kg^{-1})	فسفر قابل جذب P vailable (mg kg^{-1})	اسیدیته خاک pH	ماده آلی O.C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	بافت خاک Soil texture
۱۳۹۶ 2017	0.176	170	17.2	7.1	1.5	1.17	لومی رسی Clay loam
۱۳۹۷ 2018	0.149	185	16.8	7.1	1.4	1.11	

مزرعه محل انجام آزمایش سه بار شخم زده شد که شخم اول در اسفند ماه، شخم دوم در اواسط اردیبهشت همزمان با احداث خزانه و شخم سوم (پادلینگ) همزمان با نشاءکاری برنج انجام شد. بذور در خزانه و زیر پوشش پلاستیکی پرورش داده شده و در سن ۲۵ روزگی (ارتفاع ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و ۳ برگی) از خزانه انتخاب و به زمین اصلی منتقل و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۲۵ بوته در مترمربع) به تعداد یک گیاهچه در هر کپه، نشاءکاری شدند. اندازه واحدهای آزمایشی نه متر مربع (ابعاد کرت اصلی ۶× ۳ متر، فرعی۲× ۳ متر و فرعی فرعی ۲× ۱ متر) بود. در طول دوره رشد برنج برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از سم دیازینون (گرانول ۵ درصد) به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار و برای مدیریت علف‌های هرز از دو نوبت وجین دستی ۲۰-۱۵ روز بعد از نشاءکاری و ۳۵-۲۰ روز پس از نشاءکاری و مبارزه شیمیایی (بوتاکلر به میزان سه لیتر در هکتار ۴ روز پس از نشاءکاری) انجام شد.

انواع کارایی‌های نیتروژن کودی مصرف‌شده و نیتروژن جذب شده توسط گیاه برنج با استفاده از شاخص‌های زیر محاسبه شدند. کلیه این شاخص‌ها در آزمایش‌های مزرعه‌ای با استفاده از روش تفاضل (Difference Method) برآورد می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها شامل عملکرد دانه و میزان جذب کل نیتروژن در کلیه تیمارها از جمله تیمار بدون کود نیتروژن انجام شدند.

$AE_N = (GY_{+N} - GY_{0N})/FN$ (۱)

$RE_N = (UN_{+N} - UN_{0N})/FN$ (۲)

$PE_N = (GY_{+N} - GY_{0N})/ (UN_{+N} - UN_{0N})$ (۳)

AE_N: کارایی زراعی کود نیتروژن، RE_N: کارایی بازیافت کود نیتروژن، PE_N: کارایی فیزیولوژیکی کود نیتروژن

GY_{+N}: عملکرد دانه در تیمار با مصرف کود (کیلوگرم در هکتار)، GY_{0N}: عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف کود، UN_{+N}و UN_{0N} به‌ترتیب میزان جذب کل نیتروژن در زیست‌توده اندام‌های هوایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در

کرت‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند و کرت بدون مصرف کود نیتروژن بر حسب کیلوگرم در هکتار، FN: مقدار کود نیتروژن مصرف شده (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند (Dobermann and Fairhurst, 2000).

بهره‌وری مصرف آب از روش زیر محاسبه گردید (Zhou *et al*., 2017):

آب باران+ مقدار آب آبیاری (مترمکعب در مترمربع)/ عملکرد دانه (کیلوگرم در مترمربع)= بهره‌وری مصرف آب

میزان آب ورودی (آبیاری و باران) به کرت‌ها با استفاده از یک کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. جهت آبیاری و اعمال تیمارهای آبیاری میزان تبخیر از تشتک کلاس A، برای دوره ۵ روزه اندازه‌گیری شد و میزان آب آبیاری براساس سطح کرت و درصد تبخیر در نظرگرفته شده، اعمال گردید. جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد نیز با رعایت اثر حاشیه (حذف دو ردیف) در هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اقدام به برداشت گردید و صفاتی نظیر تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ (SAS, 2002)، انجام شد. مقایسه میانگین با روش حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین در این بررسی به جهت آن‌که فاکتورهای آزمایش در سال دوم نسبت به سال اول در کرت‌های دیگری ولی در همان قطعه زمین تصادفی شده بودند از روش تجزیه مرکب برای آنالیز استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به‌منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد که نتایج حاکی از عدم معنی‌داری داده‌ها و شرایط لازم برای ادغام بودند.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد شلتوک:

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سه‌گانه آبیاری، کود پتاسیم و نیتروژن بر عملکرد شلتوک و تعداد دانه در خوشه (سطح احتمال یک درصد) و اثر آبیاری و نیتروژن بر تعداد خوشه در بوته (در سطح احتمال پنج درصد)، دانه در خوشه و وزن هزار دانه و اثر آبیاری در پتاسیم بر تعداد خوشه در بوته و دانه پر در خوشه (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که دور آبیاری ۱۰ روز سبب کاهش عملکرد شلتوک در همه سطوح کودی مورد مطالعه شده است. عملکرد شلتوک در رژیم‌های رطوبتی ۱۰ روزه نسبت به حالت غرقاب حدود ۳۸ درصد کاهش نشان داد. این افت عملکرد در سطوح پایین دو کود مورد استفاده بسیار مشخص و معنی‌دار بود. دور آبیاری ۱۰ روز و عدم مصرف دو نوع کود پتاسیم و نیتروژن کم‌ترین عملکرد شلتوک معادل ۸۸۷ کیلوگرم در هکتار را نشان داد. بالاترین عملکرد شلتوک از تیمار آبیاری غرقاب، مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن معادل ۵۱۹۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴). نقش کود پتاسیم و نیتروژن در تغییر عملکرد شلتوک در هر دو شرایط آبیاری مشهود بود. در هر دو نوع آبیاری با افزایش سطوح دو نوع کود عملکرد شلتوک افزایش یافته است. با افزایش دور آبیاری از وزن هزار دانه در هر سه سطح کود نیتروژن کاسته شد که این کاهش تنها در سطح یک کود نیتروژن معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن هزار دانه در با مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار از کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن معادل ۲۳/۳۱ گرم بود. افزایش دور آبیاری در هر سه سطح کود پتاسیم سبب کاهش تعداد دانه پر در خوشه شد. مصرف ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم سبب افزایش این صفت در مقایسه با سطح صفر این کود شدند. بررسی اثر دوگانه کود نیتروژن در کود پتاسیم بر این صفت نشان داد که در هر سه سطح کود پتاسیم، سطح دوم کود نیتروژن موثرتر بوده، به گونه‌ای که در این سطح کود نیتروژن و سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۹۴/۳ دانه) مشاهده گردید و کم‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۶۳/۷ عدد) در تیمار شاهد حاصل شد. تعداد دانه پوک در سال دوم مطالعه بیش‌تر از سال اول مطالعه بوده است. با توجه به روند مشابه دما در دو سال آزمایش، اثر متفاوت بودن تعداد دانه پوک در سال دوم مطالعه را به اندک بارندگی بیش‌تر در این سال در مقایسه با سال اول نسبت داد. مشابه با نتایج تحقیق حاضر ماهاجان و همکاران (Mahajana *et al*., 2012) بیان کردند که کاربرد کود پتاسیم و فسفات همراه با ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن سبب افزایش ۱۴ درصدی عملکرد شلتوک شد. همچنین کاربرد این دو کود در مقایسه با شاهد سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب و نیتروژن شد. این نشان می‌دهد که مصرف کودهای پتاسیم و نیتروژن می‌تواند کاهش عملکرد ناشی از تنش آب را جبران کند.

ارقام اصلاح‌شده مقصد فیزیولوژیک بزرگ‌تری داشته و ظرفیت پرشدن دانه در آن‌ها بهتر بوده و دلیل اصلی عملکرد بالا در آن‌ها تعادل و هماهنگی مقصد فیزیولوژیک و منبع و مواد فتوسنتزی جاری می‌باشد. رقم گیلانه نیز به‌دلیل پاکوتاه بودن نسبت به ارقام بومی (ارتفاع ۱۰۷/۵ سانتی‌متر) و داشتن تعداد دانه بیش‌تر در خوشه نیتروژن خاک، خصوصاً نیتروژن اضافه‌شده در مرحله اواخر رشد زایشی را بیش‌تر صرف پرکردن دانه کرده و در نتیجه عملکرد بالایی دارد. لذا مصرف نیتروژن در رقم پاکوتاهی چون گیلانه صرف پرشدن دانه می‌شود، در واقع در این رقم مصرف کود نیتروژن بر عملکرد بسیار تاثیرگذار است (Kavousi and Allahgholipour, 2017). ژو و همکاران (Ju *et al*., 2009) نیتروژن را فاکتور کلیدی تعیین‌کننده عملکرد و مهم‌ترین نهاده مصرفی در تولید برنج برشمردند. کود نیتروژن و رژیم آبیاری به‌طرز سینرژیکی سبب افزایش عملکرد

می‌شوند. در برنج در تنش متوسط با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن افزایش عملکرد منتج از کاهش پنجه‌های نابارور، افزایش رشد ریشه و افزایش شاخص برداشت مشاهده شد (Wang *et al*., 2016). با افزایش کود پتاسیم نیز می‌توان افت عملکرد را کاهش داد. پتاسیم عنصر ضروری برای زراعت برنج بوده و در افزایش اندازه و وزن دانه، بهبود پنجه‌زنی، افزایش پاسخ به سایر عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن و فسفر، قوی شدن ساقه‌ها، کاهش تمایل به خوابیدگی و افزایش مقاومت به امراضی چون بلاست نقش دارد (De Datta *et al*., 1985).

همچنین در بررسی مصرف کود پتاسیم بر عملکرد برنج در دو فصل خشک و مرطوب گزارش کردند که بالاترین عملکرد شلتوک از بالاترین سطح مصرفی کود پتاسیم ناشی از تولید تعداد پنجه بالاتر در کپه، تعداد بالاتر خوشه در کپه و درصد دانه پر بالاتر حاصل شده است (Htun *et al*., 2017). ماتسو و همکاران (Matsuo *et al*., 1995) گزارش کردند پتاسیم عملکرد دانه برنج را افزایش می‌دهد. واکنش عملکرد برنج به کود پتاسیم و در مکان‌های مختلف و بسته به مقادیر پتاسیم قابل دسترس خاک متفاوت است (Ghasemi Minaei *et al*., 2011). در پژوهش حاضر افزایش عملکرد شلتوک ناشی از افزایش سطح کود پتاسیم در هر دو نوع رژیم آبیاری مشاهده شد. در هنگام کم‌آبی گیاهان با پتاسیم کافی هدررفت آب کم‌تری را توسط کاهش تعرق تجربه می‌کنند (Fusheing, 2006). این ویژگی در تعدیل اثرات تنش بر رشد نمو و عملکرد برنج موثرند (Stone and Moreira, 1996; Johnson and Wallingford, 1983). افزایش رشد ریشه نیز توسط کود پتاسیم در این مسیر بسیار موثر است (Jia *et al*., 2008). این به گیاهان تحت تنش کمک کرده تا آب بیش‌تری را جذب کنند. افزایش مقاومت به تنش آب و کمک به تثبیت عملکرد گیاه زراعی در محیطهای تحت تنش از نتایج اتفاده از کود پتاسیم می‌باشد (Quampah *et al*., 2011). در پژوهش حاضر مشاهده شد که افزایش فاصله آبیاری سبب کاهش اجزای عملکرد و عملکرد شد، در حالی‌که افزایش مصرف کود نیتروژن این صفات را در هر سه رژیم آبیاری افزایش داد (جدول ۴). واضح است که افزایش فاصله آبیاری، سبب بروز تنش در رقم هاشمی در این پژوهش گردید. کاهش در تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه (Rezaei *et al*., 2009) اتفاقاتی است که حین تنش خشکی اتفاق افتاده و می‌توانند عملکرد در برنج را کاهش دهند.

کارایی زراعی، کارایی فیزیولوژیک و کارایی بازیافت نیتروژن:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات ساده (به‌جز آبیاری روی کارایی زراعی نیتروژن)، دوگانه و سه‌گانه آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر روی کارایی زراعی، فیزیولوژیک و بازیافت نیتروژن معنی‌دار بود. اثر سال بر کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل سه عامل رژیم آبیاری، کود نیتروژن و پتاسیم در سطح یک درصد بر کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در هر دو سال معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در همه سطوح کود پتاسیم با افزایش مقدار کود نیتروژن، از کارایی زراعی این کود کاسته شد، به گونه‌ای که بالاترین کارایی زراعی نیتروژن در هر دو رژیم آبیاری زمانی مشاهده شد که ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس همراه با ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در شرایط غرقاب به مقدار ۴۵/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۴). باکتری‌های محلول‌کننده فسفات و پتاسیم موجب افزایش جذب عناصری همچون فسفر، پتاسیم و نیتروژن شدند. این باکتری‌ها پتاسیم نامحلول خاک را که به به شکل کانی‌هایی چون مسکوویت، ارتوکالز، بیوتیت، فلدسپار، ایالیت و میکا تثبیت شده است به فرم محلول درآورده و آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند و موجب بهبود جذب پتاسیم می‌گردند (Zhang and Kong, 2014). کاهش ۲۲/۰۱ درصدی کارایی زراعی نیتروژن با افزایش دور آبیاری مشاهده شد. کاهش کارایی زراعی نیتروژن با بالارفتن مصرف کود نیتروژن مشاهده گردید (جدول ۴). کارایی زراعی تفاوت عملکرد شلتوک در تیمار کود داده شده و تیمار بدون کود را نسبت به کود مصرفی نشان می‌دهد. همسو با نتایج مطالعه حاضر در ارزیابی سه ساله مصرف ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن با تقسیط یکسان آن در سه مرحله پایه، ۳ و ۵ روز قبل از تشکیل مریستم خوشه و ظهور خوشه بر عملکرد برنج، نشان داد که کارآیی بازیافت، کارآیی زراعی و کارآیی فیزیولوژیک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقادیر نیتروژن قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که کارآیی بازیافت و کارآیی زراعی با افزایش میزان نیتروژن مصرفی کاهش می‌یابند (Patil *et al*., 2001). طبق نتایج پژوهش‌های گذشته، مصرف زیاد کود نیتروژن سبب کاهش کارایی زراعی کود شده و هدررفت جدی نیتروژن و آلودگی منابع آب سطحی و آب‌های زیرمینی و اتمسفر را به دنبال دارد (Liu and Diamond, 2005). در مطالعه حاضر دور آبیاری ۱۰ روز یک‌بار کارایی زراعی کود نیتروژن را کاهش داد. در سطح اول کود پتاسیم (سطح صفر) کارایی زراعی نیتروژن به شدت پایین بود. این یافته‌ها اهمیت کود پتاسیم در زراعت برنج و افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن در حضور کود پتاسیم را اثبات می‌کند. کارایی زراعی به فصل رشد، میزان عملکرد، ذخایر نیتروژن خاک، زمان و مقدار کود مورد استفاده بستگی دارد (Yoshida, 1981). کاووسی و الهقلی‌پور (Kavousi and Allahgholipour, 2017) در بررسی دو رقم گیلانه و آبجی‌بوجی بیان کردند که با افزایش مقدار کود از ۷۵ کیلوگرم بر هکتار به ۹۰ کیلوگرم بر هکتار از کارایی زراعی نیتروژن کاسته شده است.

در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در تیمار آبیاری با دور ۱۰ روز در مقایسه با آبیاری غرقاب کاهش یافت. در هر دو سال مطالعه مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در همه سطوح کود پتاسیم کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بالایی را نشان داد که تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و مصرف ۱۶۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و شرایط غرقاب به مقدار ۴۴/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. کارآیی فیزیولوژیک کود نیتروژن بسته به دیررس متوسط رس بودن رقم متغیر بین ۳۵ تا ۹۴ می باشد، اما کارآیی فیزیولوژیک در برخی از ارقام تحت تاثیر مقاد مختلف نیتروژن قرار نمی‌گیرد (Singh *et al.*, 1981).

در آزمایشی مصرف ۴۶، ۹۹۲، ۱۳۸ و ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در زراعت ذرت مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که اثر سطوح مصرفی نیتروژن بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بود و تیمار مصرف ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با میانگین ۵۶/۳۴ کیلوگرم بر کیلوگرم کارایی فیزیولوژیک از سایر تیمارها برتر بود (Bagheri *et al.*, 2011).

بازیافت ظاهری نیتروژن در واقع نسبت بین مقدار نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه به مقدار کل کود داده شده را نشان می‌دهد. اثر سال بر کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن معنی‌دار نشد، اما برهمکنش سه عامل مورد مطالعه بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های این صفت نشان داد که تنش خشکی ۳۴/۶۱ درصد کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن را کاهش داد. در هر سه سطح کود پتاسیم و هر دو سطح آبیاری مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بیش‌ترین کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن را دارد (جدول ۴). بیشترین مقدار این صفت از تیمار آبیاری غرقاب و مصرف ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن معادل ۶۶/۷ درصد مشاهده شد. با افزایش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن مقدار هدرروی و آبشویی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. می‌توان اظهار داشت که به‌دلیل حلالیت بسیار زیاد کود نیتروژن در آب معمولاً با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن مقدار بازیافت ظاهری آن کاهش می‌یابد. در این شرایط اتلاف و آبشویی کود نیتروژن بیش‌تر شده و امکان خروج آن از منطقه جذب ریشه‌ها بیش‌تر خواهد شد. همچنین تشکیل کمپلکس کود با ذرات خاک نیز می‌تواند آن را از دسترس ریشه خارج کند. به‌همین دلایل می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش مقدار بازیافت ظاهری نیتروژن خارج‌شدن نیتروژن از دسترس ریشه‌ها از طریق آبشویی و هدررفت آن می‌باشد (Alibakhshi and Mirzakhani, 2016). کاهش مصرف کودهای شیمیایی از طریق کم‌شدن میزان آبشویی آن‌ها موجب کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و در نتیجه در تداوم تولید و پایداری اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی بسیار اهمیت خواهد داشت.

بهره‌وری مصرف آب

طبق نتایج تجزیه مرکب (جدول ۳) اثرات ساده نیتروژن و پتاسیم (در سطح احتمالی یک درصد) و اثرات متقابل آبیاری با پتاسیم (در سطح احتمال پنج درصد) و نیتروژن و پتاسیم (در سطح احتمال یک درصد) روی بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار شدند. اثر سال نیز بر این صفت معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در هر دو سال زراعی مطالعه، کاهش مصرف آب ناشی از افزایش دور آبیاری، بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد، این افزایش در سال اول ۱۶ درصد و در سال دوم مطالعه ۱۳ درصد بود که معنی‌دار بود. در سطح صفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم با افزایش مصرف کود نیتروژن به بهره‌وری مصرف آب در هر دو سیستم آبیاری افزوده شد، اما در سطح ۱۸۰ کیلوگرم کود پتاسیم، سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار از کود نیتروژن موثر از دو سطح دیگر بود. زمانی‌که ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم استفاده شد، مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن سبب کاهش بهره‌وری مصرف آب در مقایسه با سطح دوم این کود شد.

نکته جالب توجه از نتایج پژوهش حاضر در مورد بهره‌وری مصرف آب افزایش بهره‌وری مصرف آب ناشی از استفاده از کود در مقابل تیمارهای عدم استفاده از کود در هر دو سبک آبیاری می‌باشد. مصرف کود سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب گردید که ناشی از اثر مثبت مصرف این دو نوع کود در افزایش عملکرد گیاه برنج می‌باشد. بالاترین بهره‌وری مصرف آب به مقدار ۰/۷۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار از کود نیتروژن و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در دور آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به‌دست آمد. گزارش شده است از مهم‌ترین چالش‌های تولید در گیاه برنج رسیدن به افزایش عملکرد همراه با افزایش کارایی استفاده از منابع مصرفی است (Wang *et al.*, 2018). ماهاجان و همکاران (Mahajana *et al.*, 2012) در گیاه برنج همبستگی بالایی بین بهره‌وری مصرف آب و عملکرد گزارش نمودند.

ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2016) با انتخاب سه رژیم آبیاری غرقاب، فواصل آبیاری و دو سطح کودی نیتروژن کم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، متوسط (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و زیاد (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاه برنج گزارش کردند که بهره‌وری مصرف آب در شرایط غرقاب و بالاترین سطح کود نیتروژن بیش‌ترین مقدار را داشته و با کاهش مقدار کود این صفت نیز کاهش نشان داشته است. در دو رژیم رطوبتی دیگر نیز با افزایش مقدار نیتروژن بر مقدار بهره‌وری مصرف آب افزوده شده است. در رژیم‌های رطوبتی مختلف اثرات افزایشی بین آب و کود نیتروژن گزارش شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر رژیم آبیاری و کود پتاسیم و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک برنج رقم گیلانه

Table 3- Combined analysis of variance for irrigation regims and potassium and nitrogen fertilizer on Yield, yield components and some physiological traits of Gilaneh rice

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد خوشه در بوته Panicle No.	تعداد دانه در خوشه Grain No.	دانه پر در خوشه Filled grain No.	دانه پوک در خوشه Unfilled grain No.	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد شلتوک Grain yield	کارایی زراعی نیتروژن Agronomic nitrogen efficiency	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن Physiologic nitrogen efficiency	کارایی بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency
سال Year	1	0.148	878.3	192	9.03	1.4	7038.04	1.57**	5.3**	0.12	0.0014**
بلوک در سال R(Y)	4	0.9	846.7*	905.8*	9.34	2.6**	8844.9	0.2	0.105	1.38	0.0002
آبیاری Irrigation	1	53.5	13377.8**	7170.4	960.1	0.41	18019745*	423.3	51.3*	2064.3*	0.06
سال×آبیاری Y×I	1	0.925	1526.3*	472.9	300.1**	0.17	75769.2**	13.4**	0.01**	17.8**	0.0018**
خطای عامل آبیاری Error I	4	0.092	278.2	378.7	16.9	0.21	1283.2	0.09	0.027	1.9	0.00032
نیتروژن Nitrogen	2	12.7	197.1	1164.3	212.8	1.3	30650436**	577.8**	1334.8**	15.34**	0.151**
سال ×نیتروژن N×Y	2	1.4	38.3	405.3	79.8	1.6	5603.3	15.9**	10.7**	6.3**	0.00033
آبیاری× نیتروژن I×N	2	33.4*	11488.3**	57.8	72.3	2.5*	735150.2**	184.7**	65.3*	1563**	0.0016
سال×آبیاری× نیتروژن Y×I×N	2	0.73	126.2	345.6	48.4	1.4	25495.2**	7.9**	1.8	11.8	0.0003*
خطای عامل نیتروژن Error N	16	0.67	390.1	211.2	22.8	0.55	3086.9	0.134	0.06**	2.08	0.0001
پتاسیم Potassium	2	3.58	2322.5	417.6	99.2	2.34	37192780**	2043.9**	262.3*	1855.8**	1.32**
سال× پتاسیم Y×P	2	2.84*	682	135.8	241.9**	0.95	7780.02	13.3**	5.2**	15.5**	0.00005
آبیاری × پتاسیم I×P	2	84.1**	18.17	7295.7*	691.1	0.01	140630.5**	53.4*	95.5*	123.1	0.06*
سال× آبیاری × پتاسیم Y×I× P	2	0.06	240.9	173.3	97.7	0.234	646.5	2.2**	1.9**	14.6**	0.001**
نیتروژن × پتاسیم N×P	4	2.7	1645.7**	1447.7*	99.5	1.51*	1088125.5**	982**	286**	629.3**	0.05**
سال× نیتروژن × پتاسیم Y×N×P	4	0.63	70.9*	154.2	46.7	0.86	23840.4**	12.8**	2.2**	22.6**	0.0008**
آبیاری× نیتروژن × پتاسیم I×N×P	4	1.1	747.8*	432.3	108.5	0.8	119049.7**	34.7	29.7*	58.8*	0.011
سال× آبیاری× نیتروژن×پتاسیم Y×I×N×P	4	1.07	566	539.2	77.8	0.4	7441.9	10.6*	1.9**	1.2	0.003**
خطای عامل پتاسیم Error K	68	0.163	178.4	315.9	30.36	0.51	4474.8	0.024	0.018	2.6	0.00022
خطای کل Total Error	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات CV(%)		10.4	18.9	22.7	38.8	0.4	3.15	2.4	2.63	5.06	2.9

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and ** significant at 5 and 1% probability levels, respectively

این اثر افزایشی از طریق کاهش رشد رویشی اضافی، افزایش رشد ریشه، افزایش رشد اندام هوایی، افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از ساقه در طول دوره رسیدگی، افزایش شاخص برداشت، افزایش عملکرد و افزایش کارایی‌های مصرف آب و نیتروژن حاصل می‌شود (Wang *et al.*, 2016). طبق نتایج مطالعات پیشین، کود پتاسیم نیز می‌تواند سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب شود بدین صورت که پتاسیم نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیک از قبیل فتوسنتز، انتقال مواد پرورده به مخازن، حفظ آماس، هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیمی، توسعه سلولی، خنثی‌سازی یون‌های دارای بار منفی غیر قابل انتشار و قطبی نمودن غشاء ایفاد می‌کند (Fanaei *et al.*, 2009). در شرایط تنش آبی، تولید رادیکال‌های تولید اکسیژن در گیاهان به‌شدت تحریک می‌شود، نیاز به پتاسیم در شرایط تنش به نقش بازدارندگی پتاسیم در برابر تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز و اکسیده شدن نسبت داد (Cakmak, 2005). در گیاه خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) مصرف کود پتاسیم، بهره‌وری مصرف آب را بهبود داد. مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در این گیاهان عملکرد دانه را ۲۱ درصد و بهره‌وری مصرف آب را ۲۲ درصد نسبت به شاهد بهبود داد (Fanaei *et al.*, 2009). کود پتاسیم سبب افزایش آبگیری کلوئیدهای سیتوپلاسمی و افزایش درجه پراکندگی آن‌ها می‌شود. فراهمی کافی از کود پتاسیم به گیاه توانایی نگهداری آب بیش‌تر و مقاومت‌کردن در برابر تنش‌های موقت را می‌دهد (Mengel and Kirkby, 2001). در برنج گزارش شده است که در کاربرد توام کودهای نیتروژن و پتاسیم کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری مصرف آب نسبت به شاهد بهبود پیدا می‌کند (Sarkar *et al.*, 2018).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و کود نیتروژنی و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات برنج رقم گیلانه

Table 4- Mean comparison for interaction effects of irrigation regimes and nitrogen and potassium levels on grain yield, yield components and some traits of Gilaneh rice

دور آبیاری Irrigation interval (Day)	نیتروژن Nitrogen	پتاس Potassium	کارایی زراعی نیتروژن Physiologic nitrogen efficiency ($kg. kg^{-1}$) 2017	کارایی زراعی نیتروژن Physiologic nitrogen efficiency ($kg. kg^{-1}$) 2018	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (%) 2017	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (%) 2018	کارایی بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (%)	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-2}$) 2017	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-2}$) 2018	عملکرد شلتوک Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
0	0	0	0	0	0	0	0	0.156i	0.15q	1354.7lm
0	60	0	8.52h	8.6gh	16.7g	16.9g	32.3d	0.239g	0.237o	3343.2f
0	120	0	7.24h	7.8hi	6.9j	6.9j	11.7j	0.294g	0.29m	3295.3d
0	0	80	0	0	0	0	0	0.401ef	0.403k	2080.6k
0	60	80	34.7c	30.6c	31.8c	31.7c	59.3b	0.463e	0.457hi	4022.9de
0	120	80	17.9de	19.1d	22.9d	23.2d	30.7de	0.56d	0.521fg	5198.3a
0	0	160	0	0	0	0	0	0.476e	0.456ij	2559.3hi
0	60	160	46.03a	45.7a	43.8a	44.5a	66.7a	0.597d	0.586de	4583.5b
0	120	160	18.9d	19.2d	18.6f	18.5f	26.5f	0.525de	0.534f	4601.2bc
10	0	0	0	0	0	0	0	0.169i	0.165q	887.3o
10	60	0	5.6k	5.9j	4.3k	3.86k	17.6i	0.238h	0.227op	1848.8l
10	120	0	6.34k	9.6g	3.4k	3.44k	12.8j	0.268gh	0.274mn	3442.1f
10	0	80	0	0	0	0	0	0.483h	0.321l	1267.5mn
10	60	80	19.55d	19.3d	20.17e	20.6e	31.9d	0.576d	0.486h	3596.2h
10	120	80	14.8f	15.3e	14.6h	15.3h	24.3gh	0.628bc	0.637bc	4065.2d
10	0	160	0	0	0	0	0	0.647b	0.659b	1429.4l
10	60	160	37.5b	38.6b	36.2b	38.7b	37c	0.764a	0.775a	3343.2f
10	120	160	14.07fg	13.3ef	11.4i	10.25i	24.7g	0.616d	0.587d	3278.2fg

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.

نتیجه‌گیری

مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم علاوه بر بهینه‌سازی مصرف کود، سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم گیلانه شد. دور آبیاری ۱۰ روز و عدم مصرف دو نوع کود پتاسیم و نیتروژن، کم‌ترین عملکرد شلتوک به‌دست آمد در صورتی که با فصل کم‌آبی مواجه باشیم مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در شرایط ۱۰ روزیکبار، بالاترین عملکرد شلتوک (۴۰۶۵ کیلوگرم در

هکتار) را ثبت کرد. در شرایط غرقاب و آبیاری ۱۰ روز یک‌بـار میـزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب ۱۲۰ و ۸۰ کیلـوگرم در هکتار بهترین عملکرد را در تیمار غرقاب و کم‌آبی خواهد داشت.

References

1. Akhgary, H. 2004. Rice; Agronomy, Ratooning, Nutrition. Published: Islamic Azad University of Rasht. (In Persian).
2. Alhassan, I., and Saddiqe. A. M. 2016. Effects of irrigation frequency and nitrogen fertilizer application on yield and water use efficiency of lowland rice (*Oryza sativa* L.) in Northeastern Nigeria. MAYFEB Journal of Agricultural Science 4: 20-27.
3. Alibakhshi, E., and Mirzakhani, M. 2016. Response of growth criteria, yield and physiologic efficiency and nitrogen appear recovery of flint corn to Simultaneous cropping of legumes and different levels of urea. Journal of Crop Production 9 (2): 75-92.
4. Allahgholipour, M., Kavousi, M., Majidi, F., Yazdani, M. R., Sharafi, N., and ShafieSabet, H. 2018. Gilaneh, A new rice cultivar with origin of Iranian landrace Varieties. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 7 (2): 277-289. (in Persian). DOI: 10.22092/RAFHC.2019.107933.1045.
5. Ashouri, M. 2012. The Effect of Water Saving Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Rice Production in Paddy Fields of Iran. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics 2 (1): 56-59.
6. Bagheri, R. H., Mobasser, R., Ghanbari-Malidarreh, A., and Dastan, S. 2011. Effect of Seedling Age and Potassium Rates on Morphological Traits Related-Lodging, Yield and Yield Components of Rice (*Oryza sativa* L.) In Iran. American-Eurasian. Journal Agriculture and Environmental Science 11 (2): 261-268. (in Persian).
7. Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R., and Visperas. R. M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management 74: 87-105. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.007.
8. Bouman, B. A. M and Tuong, T. P. 2001. Field water management to save water andincrease its productivity in irrigated lowland rice. Agricultural Water Management 49: 11-30. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00128-1
9. Cakmak, I. 2005. Kalleviates detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal Plant Nutrition 168: 521-530. https://doi.org/10.1002/jpln.200420485.
10. Carmelita, M., Alberto, R., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, A., and Amante. M. 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management 98: 1417-1430. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.011.
11. De Datta, S. K., and Millelsen, D. S. 1985. Potasium nutrition of rice. In: Munson, R.D., summer, M.E., Bishop, W.D., Potassium in Agriculture. American society of agronomy, CSSA, SSSA, Madison, WI PP. 665-699.
12. Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI and PPI &and PPIC, Makati City and Singapore.
13. Esfahani, M., Sadrzadeh, S. M., Kavousi, M., and Dabbagh Mohammadinasab, A. 2005. Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertitizers on yield, yield components and growth of rice c. v. Khazar. Iranian Journal of Crop Sciences 7 (3): 226-240. (in Persian).
14. Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., and Shirani-Rad, H. 2009. Effect of potassium fertilizer and irrigation levels on grain yield and water use efficiency of rapeseed (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) species. Iranian Journal of Crop Sciences 11 (3): 271-289. (in Persian).
15. FOSTAT, 2021. Available online at: https://www.fao.org/faostat/en/#data.
16. Fusheing, L. 2006. Potassium and Water Interaction, International Workshop on Soil Potassium and K Fertilizer Management. Guangxi University, Nanning, China Pp:1-32.
17. Ghasemi Minaei, A., Mobser, H. R., Madani, H., and Dastan, S. 2011. Results of silica and potassium application on morphological characteristics of loading Quantitative Yield of Tarom Hashemi Rice. New Finding in Agriculture 5 (4): 423-67435.
18. Guilan Meteorological Quarterly. 2019. Statistics 24 pp. (in Persian).
19. Htun, K. M. M., Thein, S. S., Toe, S. S., and Ngwe, K. K. 2017. Effects of different rates of potassium fertilizer on rice productivity with or without rice husk ash in Minbya soil. Journal of Agricultural Research 4 (1). 30-38.
20. Ju, X. T., Xing, G. X., Chen, X. P., Zhang, S. L., Zhang, L. J., Liu, X. J., Cui, Z. L., Yin, B., Christiea, P., Zhu, Z. L., and Zhang, F. S. 2009. Reducing environmental risk byimproving N management in intensive Chinese agricultural systems. Protection National Academic Science U. S. A. 106: 3041-3046. https://doi.org/10.1073/pnas.0813417106.
21. Kavousi, M., and Allahgholipour, M. 2017. Effect of Dividend and Nitrogen Fertilizer on Growth and Grain Yield of Two Rice Cultivars (*Oryza sativa* L.) (Gilaneh and Abji Boji). Iranian Journal of Crop Sciences 2 (19): 165-18.
22. Khosravi, Y., Dastan, S., Mobaser, H., and Nasri, M. 2011. Effects of Nitrogen Stress and Cycocel Application on Versus-Related Properties and Yield of Rice Grains in Tarom Dilmani Cultivar. Crop Production Research 3 (4): 409-419.
23. Liu, J., and Jared, D. 2005. China's environment in a globalizing world. Nature 435: 1178-1186. https://doi.org/10.1038/4351179a.

24. Mahajana, G. B. S. Chauhanb, J., Timsinab, P. P., Singha, P., and Singha, K. 2012. Crop performance and water- and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. Field Crops Research 134: 59-70. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.04.011.
25. Maleki, A., Fazel, S., Naseri, R., Rezaei, K., and Heydari, M. 2014. The Effect of Potassium and Zinc Sulfate Application on Grain Yield of Maize under Drought Stress Conditions Adv. Environmental Biology. 8 (4): 890893.
26. Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R., Ishihara, K., and Hirata. J. 1995. Science of the rice plant, Food and Agriculture Policy Research Center. Tokoyo, Japan 2: 1240 Pp.
27. Mengel, K., and Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutritio. Kluwer Academic Pub. Paper back, 849p.
28. Pandey, V and Shukla, A. 2015. Acclimation and Tolerance Strategies of Rice under Drought Stress. Rice Science 22 (4): 147-161. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.04.001.
29. Patil, S. K., Singh, U., Singh, V. P., Mishra, V. N., Das, R. O., and Henao, J. 2001. Nitrogen dyanamics and crop growth on an Alfisol and Vertisol under a direct-seeded rainfed lowland rice-based system. Field Crop Research 70: 186-199. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00135-6.
30. Peng, S., Garcia, F. V., Laza, R. C., Sanico, A. L., Visperas, R. M., and Cassman, K. G. 1996. Increased nuse efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. Field Crops Research 47: 243-252. https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00018-4.
31. Prasad, B., and Prasad, J. 1997. Response of rice to potassium application in calcareous soils. Journal of Potassium Research 13: 50-57.
32. Priya, T. S. R., Nelson, A. R. L. E., Ravichandran, K., and Antony, U. 2019. Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: A review. Journal of Ethnic Foods 6: 1-11. https://doi.org/10.1186/s42779-019-0017-3.
33. Quampah, A., Wang, R. M., Shamsi, I. H., Jilani, G., Zhang, Q., Hua, S., and Xu, H. 2011. Improving water productivity by potassium application in various rice genotypes. International Journal Agriculture Biology 13: 9-17.
34. Rezaei, A. 2010. Investigation of the effects of silica and potassium in two planting arrangements on agronomic and morphological characteristics of Tarom Mahali cultivar. Master Thesis in Agriculture. Islamic Azad University (*Oryza stiva* L.) affiliated to Vers in rice of Ghaemshahr branch 102 Pp.
35. Rezaei Sokht-Abandani, A., Siadat, S. A., Pazoki, A., Lak, Sh., and Mojaddam, M. 2018. Effect of drought stress, different levels of nitrogen and potassium fertilizer on some physiological and agronomical traits of maize hybrid.12, 40: 40-52.
36. Sarkar, N., Uddipta, G., and Kumar, B. 2018. Effect of drip irrigation on yield and water use efficiency of summer rice cultivation in pots. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7 (1): 37-40.
37. SAS. 2002. The SAS system for Windows. Release 9.0. SAS Inst., Cary, NC. US.
38. Singh, U., Ladha, J. K., Castillo, E. G., Punzalan, G., Tirol-Padre, A., and Duqueza, M. 1981. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium-and log-duration rice. Field Crops Research 58: 35-53. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00084-7.
39. Stone, L. F., and Moreira, J. A. A. 1996. Response of upland rice to ploughing depth, potassium fertilization, and soil water status. Brasilia. 31 (12): 885-895.
40. Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. L., Sibayan, E. B., and Sattar, M. A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. Agricultural Water Management 56: 93-112. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00007-0.
41. Vennila, C., and Jayanthi, C. 2006. Effect of integrated nitrogen management on nitrogen use efficiency in wet seeded rice + daincha dual cropping system. Madras Agricultural Journal 93 (7-12): 274-277.
42. Wang, Zh. Zh., Beebout, W., Sarah, S., Zhang, H., Liu, L.,Yang, J., and Zhang, J. 2016.Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influencedby irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. Field Crops Research 193: 54-69. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006.
43. Wang. J., Lu, Y. P., Wang, J., Xu, R. X., Li, J., Hu, W., and Tian, X. H. 2018. Effects of elevated nitrogen application on nitrogen partitioning, plant growth, grain quality and key genes involved in glutamate biosynthesis among three rice genotypes. Chilean Journal of Agricultural Research 78 (2): 152-164. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000200152.
44. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines 269pp.
45. Zhang, C., and Kong, F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants, Applied Soil Ecology 8 (2): 18-25. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.002.
46. Zhou, Q., Ju, Ch., Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., and Zhang J. 2017. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. Journal Integrative Agriculture 16 (5): 1028-1043. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61506-X.